



⑬ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENTAMT**

⑫ **Offenl gungsschrift**  
⑩ **DE 196 41 074 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 01 K 13/08**  
B 60 K 41/22

⑳ Aktenzeichen: 196 41 074.6  
㉔ Anmeldetag: 4. 10. 96  
㉕ Offenlegungstag: 9. 4. 98

DE 196 41 074 A 1

⑦① Anmelder:  
ZF Friedrichshafen AG, 88046 Friedrichshafen, DE

⑦② Erfinder:  
Dreibholz, Ralf, 88074 Meckenbeuren, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

DE 196 09 106 A1  
DE 42 06 391 A1  
US 46 78 069  
JP 07-0 12 155 A

LEIMANN, Dirk-Olaf: Wärmearm konstruieren,  
Teil 2: Einfluß der Übersetzungsaufteilung  
auf die Erwärmung von Zahnradgetrieben. In:  
antriebstechnik 32, 1993, Nr.5, S.70-73;  
WINTER,Hans, FUNCK,Gerhard: Wärmeabführung  
bei  
Getrieben unter besonderen Betriebsbedingungen.  
In: antriebstechnik 28, 1989, Nr.8, S.65-68;  
FRICKE,J., u.a.: Messungen an geschmierten  
Gleitflächen. In: messen + prüfen/automatik,  
Juli/Aug. 1979, S.567-570,573;

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤④ Temperaturbestimmung einer Reibschlußverbindung

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Temperaturbe-  
stimmung einer Reibschlußverbindung, insbesondere ei-  
ner Anfahr- oder Schaltkupplung oder Bremse eines Ge-  
triebes. Bei Reibschlußverbindungen wird durch Relativ-  
drehung zweier Reibflächen Reibungswärme erzeugt.  
Diese Wärme wird durch einen Kühlmittelfluß abgeführt.  
Ausgehend von der Umgebungstemperatur der Reib-  
schlußverbindung wird ihre aktuelle Temperatur durch In-  
tegration der Temperaturänderung berechnet. Die diffe-  
rentielle Temperaturänderung ist dabei proportional zur  
Differenz aus Reibungsleistung und Wärmeabfuhr.

DE 196 41 074 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Temperaturbestimmung einer Reibschlußverbindung, insbesondere einer Anfahr- oder Schaltkupplung oder Bremse eines Getriebes. Bei derartigen Reibschlußverbindungen wird durch Relativdrehung zweier Reibflächen Reibungswärme erzeugt. Diese Wärme wird durch einen Kühlmittel-  
fluß, insbesondere Getriebeöl abgeführt. Die direkte Temperaturmessung an der Reibschlußverbindung ist sehr aufwendig, insbesondere bei Kupplungen, bei denen beide Hälften drehbar sind. Die indirekte Temperaturmessung über das abströmende Kühlmittel ist ebenfalls sehr aufwendig. Darüber hinaus ist es sehr schwierig, einen Temperaturmeßfühler nahe genug an den drehenden Teilen der Reibschlußverbindung unterzubringen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Temperaturbestimmung einer Reibschlußverbindung zu schaffen, bei dem die Temperatur nicht gemessen werden muß, sondern rechnerisch bestimmt werden kann.

Diese Aufgabe wird mit einem, auch die kennzeichnenden Merkmale des Hauptanspruchs aufweisenden, gattungsgemäßen Verfahren gelöst.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird die aktuelle Temperatur durch die Integration der Differentialgleichung

$$\tau * \frac{dT_R}{dt} + T_R = T_{K,zu} + K * \Delta\omega * M_U$$

berechnet,  
mit der Zeitkonstante

$$\tau = C_R \frac{2c_K \rho \Phi + \alpha A}{2c_K \rho \Phi \alpha A}$$

und dem Verstärkungsfaktor

$$K = \frac{2c_K \rho \Phi + \alpha A}{2c_K \rho \Phi \alpha A},$$

wobei die Symbole bezeichnen:

$T_R$  Temperatur der Reibschlußverbindung

$t$  Zeit

$T_{K,zu}$  Temperatur des Kühlmittels beim Zulauf = Umgebungstemperatur der Reibschlußverbindung

$\Delta\omega$  Relativwinkelgeschwindigkeit der beiden Hälften der Reibschlußverbindung

$M_U$  Übertragungsdrehmoment der Reibschlußverbindung

$C_R$  absolute Wärmekapazität der Reibschlußverbindung

$c_K$  relative Wärmekapazität des Kühlmittels

$\rho$  Dichte des Kühlmittels

$\Phi$  Kühlmittelvolumendurchfluß

$\alpha$  relative Wärmeübergangskonstante an der Grenzfläche Reibschlußverbindung—Kühlmittel

$A$  Fläche der Grenzfläche Reibschlußverbindung-Kühlmittel.

Diese Gleichung läßt sich folgendermaßen herleiten:

Der Reibschlußverbindung wird für den Fall, daß ihre beiden Hälften aufeinander gleiten, Energie in Form von Reibungswärme zugeführt und Wärmeenergie durch ein Kühlmittel, vorzugsweise Getriebeöl abgeführt. Im nicht stationären Fall — d. h. Reibungswärmeenergiezufuhr ist ungleich Wärmeenergieabfuhr durch Kühlmittel — führt dies zu einer Änderung der Wärmeenergie der Reibschlußverbindung. Der Energieerhaltungssatz läßt sich folgendermaßen formulieren:

$$C_R * \frac{dT_R}{dt} = P_R - P_K \quad (1)$$

mit

$P_R$  an der Reibschlußverbindung verrichtete Reibleistung,

$P_K$  Kühlleistung.

Die an der Reibschlußverbindung verrichtete Reibleistung  $P_R$  ist das Produkt aus Relativwinkelgeschwindigkeit  $\Delta\omega$  der beiden Hälften der Reibschlußverbindung und ihrem Übertragungsdrehmoment  $M_U$

$$P_R = \Delta\omega M_U \quad (2)$$

Die Kühlleistung  $P_K$  führt zu einer Erwärmung des Kühlmittels

$$P_K = c_K \rho \Phi (T_{K,ab} - T_{K,zu}) \quad (3)$$

mit

$T_{K,ab}$  Temperatur des Kühlmittels beim Ablauf von der Reibschlußverbindung.

Dabei ist der Wärmeübergang an der Grenzfläche zwischen Reibschlußverbindung und Kühlmittel gegeben durch

$$P_K = \alpha A (T_R - \langle T_K \rangle) \quad (4)$$

mit

$\langle T_K \rangle$  mittlere Temperatur des Kühlmittels beim Wärmeübertrag.

Die mittlere Temperatur des Kühlmittels beim Wärmeübertrag wird als das arithmetische Mittel der Zu- und Abflußtemperatur angesetzt:

$$\langle T_K \rangle = \frac{1}{2} (T_{K,ab} + T_{K,zu}) \quad (5)$$

Gleichung (5) in (4) eingesetzt ergibt:

$$P_K = \alpha A \left( T_R - \frac{1}{2} T_{K,ab} - \frac{1}{2} T_{K,zu} \right) \quad (6)$$

Gleichung (6) nach  $T_{K,ab}$  aufgelöst ergibt:

$$T_{K,ab} = 2T_R - T_{K,zu} - \frac{2}{\alpha A} P_K \quad (6')$$

Einsetzen von Gleichung (6') in (3) eliminiert die unbekannte Temperatur des Kühlmittels beim Ablauf von der Reibschlußverbindung  $T_{K,ab}$ :

$$P_K = c_K \rho \Phi \left( 2T_R - T_{K,zu} - \frac{2}{\alpha A} P_K \right) \quad (7)$$

Auflösen nach  $P_K$  ergibt:

$$P_K = \frac{2c_K \rho \Phi \alpha A}{2c_K \rho \Phi + \alpha A} (T_R - T_{K,zu}) \quad (7')$$

Gleichung (2) und (7') in (1) eingesetzt gibt folgende Differentialgleichung:

$$C_R \frac{2c_K \rho \Phi + \alpha A}{2c_K \rho \Phi \alpha A} \cdot \frac{dT_R}{dt} + T_R = T_{K,zu} + \frac{2c_K \rho \Phi + \alpha A}{2c_K \rho \Phi \alpha A} \cdot \Delta\omega \cdot M_U \quad (8)$$

Der Term

$$C_R \frac{2c_K \rho \Phi + \alpha A}{2c_K \rho \Phi \alpha A}$$

hat dabei die Bedeutung einer Zeitkonstante  $\tau$  und der Term

$$\frac{2c_K \rho \Phi + \alpha A}{2c_K \rho \Phi \alpha A}$$

die Bedeutung eines Verstärkungsfaktors K. Mit diesen beiden Abkürzungen erhält man obige Differentialgleichung:

$$\tau * \frac{dT_R}{dt} + T_R = T_{K,zu} + K * \Delta \omega * M_U$$

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird die Relativwinkelgeschwindigkeit  $\Delta \omega$  der beiden Hälften der Reibschlußverbindung als Differenz der absoluten Winkelgeschwindigkeiten der Primär- und Sekundärseite dieser Reibschlußverbindung berechnet. Dabei wird die die Primär- bzw. Sekundärwinkelgeschwindigkeit jeweils als Produkt der Winkelgeschwindigkeit eines im Antriebsstrang auf der Primär- bzw. Sekundärseite dieser Reibschlußverbindung befindlichen Bauteils und dem Übersetzungsverhältnis zwischen jeweils diesem Bauteil und der Primär- und Sekundärseite dieser Reibschlußverbindung bestimmt. Die Winkelgeschwindigkeit wird dabei jeweils mittels eines Drehzahlsensors gemessen.

Vorteilhafterweise wird die Motordrehzahl als Drehzahl eines Bauteils auf der Primärseite der Reibschlußverbindung und die Getriebeabtriebsdrehzahl als Drehzahl eines Bauteils auf der Sekundärseite der Reibschlußverbindung herangezogen.

Das Übertragungsdrehmoment der Reibschlußverbindung wird vorzugsweise anhand von dem Druck im Stellzylinder der Reibschlußverbindung ermittelt. Da die Stellkolbenfläche bekannt ist, ebenso wie die Fläche und der Reibungskoeffizienten der Reibschlußverbindung, kann die Reibungskraft der Reibschlußverbindung berechnet werden. Multipliziert mit dem mittleren Radius der Reibschlußverbindung ergibt sich damit das Übertragungsdrehmoment der Reibschlußverbindung.

Vorzugsweise wird obige Differentialgleichung für die aktuelle Temperatur mittels eines Digitalrechners berechnet. Vorteilhafterweise wird zur Berechnung der aktuellen Temperatur das Runge-Kutta-Verfahren angewendet.

In einer anderen vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird die aktuelle Temperatur mittels eines Analogrechners berechnet.

Vorzugsweise ist das Getriebesteuerungsprogramm von dem Ergebnis der Temperaturberechnung abhängig. Durch eine Verringerung der Schalzhäufigkeit bei hohen Temperaturen wird die Reibschlußverbindung thermisch entlastet und kann sich wieder abkühlen. Bei hohen Temperaturen der Reibschlußverbindung wird vorzugsweise der Ablauf des Lastschaltvorgangs in der Weise abgeändert, daß die thermische Belastung der Reibschlußverbindung abnimmt. Dies bedeutet, daß bei hohen Fahrgeschwindigkeiten die Reibschlußverbindung schnell geschlossen wird und bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten schnell geöffnet wird. Das führt zwar zu einem ruppigen Schaltverhalten und mangelndem Schaltkomfort, entlastet aber die Reibschlußverbindung thermisch. Zwar ist dabei das Übertragungsdrehmoment und damit die Reibleistung für kurze Zeit noch höher, aber die gesamte Reibungswärme, d. h. das Integral der Reibleistung ist infolge kürzere Schaltzeiten, d. h. Zeiten, in denen die Kupplung schleift, geringer. Bei geringen Fahrgeschwindigkeiten, bei denen zwar das Übertragungsdrehmoment klein ist, aber die Kupplung permanent schleift, und damit eine hohe Reibungswärme anfällt, wird die Reibschlußverbindung vorteilhafterweise schnell geöffnet.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung werden die Zeitkonstante  $\tau$  und der Verstärkungsfaktor K in Abhängigkeit von im Versuch ermittelten Funktionalen des Kühlmittelvolumendurchflusses  $\Phi$  bestimmt.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Temperaturbestimmung einer Reibschlußverbindung, insbesondere einer Kupplung oder Bremse eines Getriebes, bei der durch Relativdrehung zweier Reibflächen Reibungswärme erzeugt wird und diese Wärme durch einen Kühlmittelfluß abgeführt wird, dadurch gekennzeichnet, daß ausgehend von einer Umgebungstemperatur der Reibschlußverbindung ihre aktuelle Temperatur durch Integration der Temperaturänderung berechnet wird, die proportional zur Differenz aus Reibungsleistung und Wärmeabfuhr ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die aktuelle Temperatur durch die Integration der Differentialgleichung

$$\tau * \frac{dT_R}{dt} + T_R = T_{K,zu} + K * \Delta \omega * M_U$$

berechnet wird,  
mit der Zeitkonstante

$$\tau = C_R \frac{2c_K \rho \Phi + \alpha A}{2c_K \rho \Phi \alpha A}$$

5

und dem Verstärkungsfaktor

$$K = \frac{2c_K \rho \Phi + \alpha A}{2c_K \rho \Phi \alpha A},$$

10

wobei die Symbole bezeichnen:

15

$T_R$  Temperatur der Reibschlußverbindung

$t$  Zeit

$T_{K_{zu}}$  Temperatur des Kühlmittels beim Zulauf = Umgebungstemperatur der Reibschlußverbindung

$\Delta \omega$  Relativwinkelgeschwindigkeit der beiden Hälften der Reibschlußverbindung

$M_Q$  Übertragungsdrehmoment der Reibschlußverbindung

20

$C_R$  absolute Wärmekapazität der Reibschlußverbindung

$c_K$  relative Wärmekapazität des Kühlmittels

$\rho$  Dichte des Kühlmittels

$\Phi$  Kühlmittelvolumendurchfluß

$\alpha$  relative Wärmeübergangskonstante an der Grenzfläche Reibschlußverbindung-Kühlmittel

25

$A$  Fläche der Grenzfläche Reibschlußverbindung-Kühlmittel

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Relativwinkelgeschwindigkeit  $\Delta \omega$  der beiden Hälften der Reibschlußverbindung als Differenz der absoluten Winkelgeschwindigkeiten der Primär- und Sekundärseite dieser Reibschlußverbindung berechnet wird, wobei die die Primär- bzw. Sekundärwinkelgeschwindigkeit jeweils als Produkt der mittels jeweils eines Drehzahlsensors gemessenen Winkelgeschwindigkeit eines im Antriebsstrang auf der Primär- bzw. Sekundärseite dieser Reibschlußverbindung befindlichen Bauteils und dem Übersetzungsverhältnis zwischen jeweils diesem Bauteil und der Primär- und Sekundärseite dieser Reibschlußverbindung bestimmt wird.

30

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß als Drehzahl eines Bauteils auf der Primärseite der Reibschlußverbindung die Motordrehzahl und als Drehzahl eines Bauteils auf der Sekundärseite der Reibschlußverbindung die Getriebeabtriebsdrehzahl herangezogen wird.

35

5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Übertragungsdrehmoment der Reibschlußverbindung anhand von dem Druck im Stellzylinder bei bekannter Stellkolbenfläche der Reibschlußverbindung und der Abmessung sowie des Reibungskoeffizienten der Reibschlußverbindung ermittelt wird.

40

6. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die aktuelle Temperatur mittels eines Digitalrechners berechnet wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die aktuelle Temperatur nach dem Runge-Kutta-Verfahren berechnet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die aktuelle Temperatur mittels eines Analogrechners berechnet wird.

45

9. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Getriebesteuerungsprogramm von dem Ergebnis der Temperaturberechnung abhängig ist.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Getriebesteuerungsprogramm bei hohen Temperaturen der Reibschlußverbindung die Schalthäufigkeit verringert.

50

11. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Getriebesteuerungsprogramm bei hohen Temperaturen der Reibschlußverbindung den Ablauf des Lastschaltvorgangs in der Weise abändert, daß die thermische Belastung der Reibschlußverbindung abnimmt.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Getriebesteuerungsprogramm bei hohen Temperaturen der Reibschlußverbindung diese bei hohen Fahrgeschwindigkeiten schnell schließt und bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten schnell öffnet.

55

13. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitkonstante  $\tau$  und der Verstärkungsfaktor  $K$  in Abhängigkeit von im Versuch ermittelten Funktionalen des Kühlmittelvolumendurchfluß  $\Phi$  bestimmt werden.

60

65

- Leerseite -